

STUDI PERBANDINGAN ANALISIS UNSUR PLUMBUM (PB) DARI HASIL ELEKTROLISIS ANTARA METODE LASER- INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS) DENGAN METODE KONVENSIONAL

COMPARATIVE ANALYSIS STUDY OF PLUMBUM (PB) ELECTROLYSIS SAMPLE BETWEEN LASER- INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS) AND CONVENTIONAL METHOD

H. Suyanto^{1,3*}, M. Manurung^{2,3}, D.N.Sinaga¹

¹Jurusan Fisika, ²Jurusan Kimia, ³Kelompok Riset Material Sain dan Teknologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

Diterima: 13 April 2014. Disetujui: 21 April 2014. Dipublikasikan: Juli 2014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis unsur Pb hasil proses elektrolisis dengan metode alternatif laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) dan metode konvensional. Elektrolisis menggunakan tembaga (Cu) sebagai katoda dan karbon sebagai anoda. Unsur Pb yang terdepositasi pada katoda diirradiasi laser Nd-YAG (model CFR 200, 1064nm) dan emisinya (Pb I 405.7 nm) ditangkap spektrometer HR 2500⁺⁺ yang kemudian ditampilkan dalam intensitas fungsi panjang gelombang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi laser, arus listrik dan waktu deposisi proses elektrolisis yang optimum untuk karakterisasi unsur Pb masing-masing adalah 100 mJ, 5,28 mA dan 15 menit. Aplikasi metode ini untuk analisis kuantitatif larutan Pb dengan membuat kurva kalibrasi dari konsentrasi 300 ppm sampai konsentrasi terendah yaitu 0,5 ppm, serta diperoleh deteksi limit sebesar 0,44 ppm. Sebagai perbandingan metode deteksi dengan LIBS ini telah dilakukan analisis dengan metode konvensional dengan menentukan selisih massa katoda sebelum dan sesudah elektrolisis dan diperoleh hasil yang sebanding.

ABSTRACT

The aim of this research was to compare between a method of laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) and the conventional one to analyse of Plumbum (Pb) element resulted from electrolysis process. Electrolysis used copper (Cu) and carbon (C) as cathode and anode respectively. Plumbum element which was deposited on cathode was irradiated by Nd-YAG laser (model CFR 200, 1064nm) and its emission intensity of neutral Pb I 405.7 nm in the plasma was captured by HR 2500⁺⁺ spectrometer and displayed in a form of intensity as a function of wavelength. The experiment result showed that the optimum condition parameters of electrolysis: laser energy, electric current and electrolysis time duration were 100 mJ, 5.28 mA and 15 minutes respectively. An application of these conditions was done to make calibration curve of Pb element in liquid sample from 300 ppm to 0.5 ppm and resulted a limit of detection (LOD) of 0.44 ppm. As a comparison of this method, the weighed the mass of the cathode (Cu) before and after electrolysis had been calculated by conventional method. The data showed that these two methods are proportional.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: electrolysis, Pb elemen; laser energy; LIBS method; conventional method

*Alamat Korespondensi:
Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361.
E-mail: hery6@yahoo.com

PENDAHULUAN

Analisis suatu unsur yang terkandung dalam sampel cair merupakan suatu hal yang paling penting dalam aplikasi kehidupan sehari-hari. Banyak peralatan yang digunakan untuk tujuan tersebut diantaranya AAS, ICP dan lain-lain (James, 1988). Tetapi peralatan tersebut harganya cukup mahal dan melalui proses agak rumit. Salah satu peralatan sederhana yang dapat digunakan untuk analisis unsur tersebut adalah metode elektrolisis. Prinsip dasar proses ini adalah mengionkan unsur-unsur dalam sampel cair dengan memberikan beda tegangan (atau mengalirkan arus DC) dalam larutan tersebut melalui dua elektroda dan menarik ion-ion tersebut menempel pada salah satu elektrodanya (Laird, 2009). Selanjutnya elektroda ini dianalisis untuk mengetahui jumlah atau massa unsur yang menempel melalui suatu metode menurut Faraday (Hobart, 1988) yaitu dengan cara menimbang elektroda sebelum dan sesudah elektrolisis yang mana selisih massanya merupakan massa unsur-unsur dalam cairan yang menempel pada elektroda. Kelemahan metode konvensional ini, bila dalam larutan tersebut mengandung sejumlah unsur, maka selisih jumlah massa tersebut merupakan massa total dari semua unsur. Sehingga sulit untuk menentukan konsentrasi masing-masing unsur dalam larutan tersebut. Sehingga dalam penelitian ini bertujuan selain untuk mencari metode baru dalam menganalisis hasil elektrolisis juga untuk mengatasi kelemahan metode konvensional tersebut. Metode alternatif tersebut adalah metode *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS). Untuk tujuan ini maka perlu dicari kondisi optimum penelitian diantaranya berapa energi laser, waktu elektrolisis dan arus listrik yang cocok untuk analisis unsur dalam sampel cair. Sehingga metode ini nantinya dapat menggantikan metode konvensional.

Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) merupakan spektroskopi atomik yang sangat handal untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif untuk sampel padat, cair maupun gas. Sampel hasil elektrolisis diirradiasi laser dan terbentuk plasma yang berisikan elektron-elektron, atom-atom netral, ion-ion dan atom-atom tereksitasi. Pada saat elektron-elektron dalam atom tereksitasi turun ke keadaan dasar (*ground state*) akan melepaskan energi dalam bentuk foton dan ditangkap oleh spektrometer yang ditampilkan dalam intensitas fungsi panjang gelombang (Kurniawan, 2014). Intensitas

menyatakan konsentrasi atau jumlah suatu unsur yang berada dalam sampel sedangkan panjang gelombang menunjukkan jenis unsur-nya. Sehingga dapat memilih unsur apa yang akan dianalisis. Semua hasil analisis dengan LIBS ini dibandingkan dengan metode konvensional yang mana untuk memvalidasi kebenaran metode ini. Untuk memudahkan analisis, maka pada penelitian ini menggunakan larutan standar Pb.

METODE

Proses elektrolisis pada penelitian ini menggunakan elektroda yaitu tembaga (Cu) sebagai katoda dan karbon (C) sebagai anoda dengan ukuran masing-masing panjang 5 cm, lebar 0,8 cm, tebal 0,02 cm (Cu) dan tebal 0,4 cm (C) (Yudiandika, 2010). Pasangan elektroda ini dirangkai secara seri dan diberikan arus listrik DC dengan katoda ke kutub negatif dan anoda ke kutub positif. Selanjutnya elektroda ini dimasukkan ke dalam 30 ml larutan elektrolit standar yang mengandung unsur Pb. Dalam penelitian ini ada 3 parameter yang harus dioptimasi diantaranya: besarnya arus listrik, waktu deposisi dan besarnya energi laser yang cocok untuk analisis unsur Pb. Prosedur penelitian, teknik pengambilan data dan cara menganalisis dari ketiga parameter tersebut diuraikan sebagai berikut.

Untuk optimasi energi laser, larutan elektrolit Pb yang digunakan konsentrasi 300 ppm, waktu elektrolisis 30 menit dan arus listrik 5.28 mA. Pengambilan data dilakukan dengan cara, unsur Pb yang mengendap pada katoda hasil elektrolisis diirradiasi Laser Nd-YAG (model CFR 200, 1.064 nm, 7 ns) dengan menggunakan energi laser yang bervariasi dari 20 mJ sampai 120 mJ dan terbentuk plasma. Intensitas emisi unsur Pb dalam plasma ditangkap oleh spektrometer ocean optic HR 2500⁺⁺ (resolusi 0.1 nm FWHM, range panjang gelombang 200 – 980 nm, 14,336 pixels CCD) dengan akumulasi 2, *delay time* 0.5 μ s dan hasilnya ditampilkan dalam spektra intensitas fungsi panjang gelombang oleh *software OOILIBS*. Data spektra ini dianalisis dengan menggunakan *software AddLIBS* dan *Microsoft Excel* menghasilkan grafik dan jenis-jenis unsurnya, sehingga dapat ditentukan kondisi optimum energi laser yang cocok untuk analisis suatu unsur hasil elektrolisis ini.

Untuk optimasi arus listrik, larutan elektrolit Pb yang digunakan konsentrasi 300 ppm, waktu elektrolisis 30 menit dan arus bervariasi

dari 1 mA sampai 1 A dengan memvariasi nilai hambatanya. Dalam tahap ini, energi laser yang digunakan adalah hasil optimasi pada tahap sebelumnya. Selanjutnya teknik pengambilan data dan analisisnya sama dengan saat mencari kondisi optimum energi laser yang telah diuraikan di atas.

Untuk optimasi waktu deposisi, larutan elektrolit Pb yang digunakan konsentrasi 300 ppm, waktu elektrolisis divariasi dari 5 menit sampai dengan 30 menit dengan menggunakan arus listrik dan energi laser hasil optimasi tahap sebelumnya. Sedangkan teknik pengambilan data dan analisisnya sama dengan saat mencari kondisi optimum energi laser yang telah diuraikan di atas.

Aplikasi dari optimasi parameter elektrolisis dengan metode analisis LIBS ini digunakan untuk menentukan deteksi limit. Pada tahap ini konsentrasi larutan diturunkan mulai 300 ppm hingga ppm terkecil yang masih dapat dideteksi oleh LIBS. Semua hasil analisis dengan LIBS dibandingkan dengan metode konvensional yaitu menimbang massa katoda sebelum dan sesudah elektrolisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

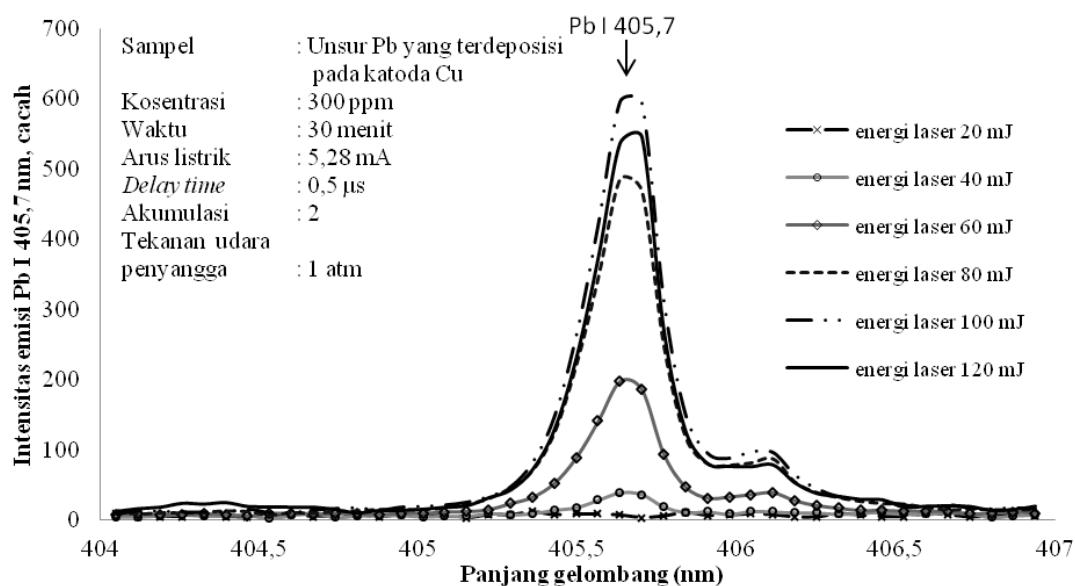
Seperti telah didiskusikan pada penelitian sebelumnya (Willard, 1988), bahwa salah satu kelemahan metode analisis konvensional dari hasil elektrolisis dengan cara menimbang massa elektroda sebelum dan setelah elektrolisis adalah tidak bisa mengetahui massa masing-masing unsur yang terdeposisi (Yudiandika, 2010), telah melakukan pemisahan logam perak (Ag) dari limbah fotografi dengan cara elektrolisis melalui variasi arus listrik dan bahan elektroda. Hasil elektrolisis kemudian dianalisis dengan metode konvensional dan diperoleh kondisi optimum untuk memisahkan logam perak dari limbah fotografi. Tetapi setelah dilakukan pengecekan dengan *atomic absorption spectroscopy* (AAS) terhadap limbah fotografi sebelum dan setelah elektrolisis, terdapat beberapa unsur lain yang terdeposisi pada elektroda yang mana termasuk pada massa yang tertimbang. Sehingga hasil analisisnya mengalami koreksi. Peneliti lain, (Marincan, 2001) telah melakukan analisis hasil elektrolisis dengan metode Laser-Induced Shock Wave Plasma Spectroscopy (LISPS) dengan laser TEA CO₂. (Lee, 2012) telah melakukan analisis dengan LIBS hasil deposisi unsur-unsur yang teradsorpsi oleh kertas filter (saring). Pada penelitian-penelitian ini tidak

mencantumkan kondisi optimum penelitian untuk menganalisis suatu unsur hasil elektrolisis dan tidak memvalidasinya dengan metode konvensional. Sehingga tidak bisa diaplikasikan untuk menganalisis pemisahan suatu unsur dalam cairan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dalam penelitian ini telah dilakukan analisis hasil elektrolisis melalui metode LIBS dengan memperhatikan kondisi optimum eksperimen dan membandingkan dengan metode konvensional dengan hasil diuraikan sebagai berikut.

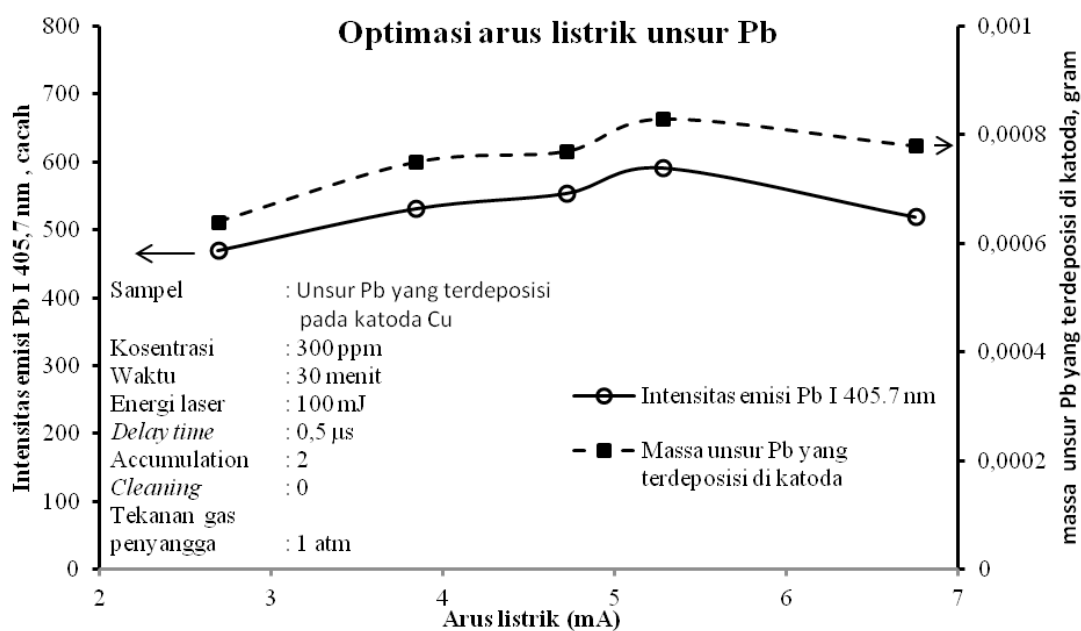
Penentuan optimasi energi laser dilakukan dengan menggunakan larutan elektrolit standar unsur Pb dengan konsentrasi 300 ppm, arus listrik tetap 5.28 mA dan waktu deposisi tetap 30 menit. Unsur Pb yang menempel pada elektroda Cu, kemudian dianalisis melalui LIBS dengan variasi energi laser dari 20 mJ sampai 120 mJ. Intensitas emisi photon unsur Pb pada panjang gelombang 405.7 nm (Fredrick, 1982) ditangkap spektrometer setelah 0.5 μ s dari terbentuknya plasma dengan akumulasi 2 kali dan hasilnya ditampilkan dalam intensitas fungsi panjang gelombang seperti pada Gambar 1.

Gambar 1 merupakan potongan dari spektra (200-980 nm) pada daerah emisi unsur atom Pb netral. Spektrum menunjukkan bahwa intensitas emisi atom netral Pb I (405,7 nm) meningkat dengan bertambah besarnya energi laser sampai energi laser 100 mJ dan menurun pada energi laser 120 mJ. Penurunan ini disebabkan karena lapisan tipis hasil elektrolisis tidak mampu memberikan gaya pantul yang cukup kuat saat diirradiasi laser dan menyebabkan atom-atom Pb yang terablasikan bergerak dengan kecepatan rendah. Atom-atom ini akan mengalami kompresi adiabatik dengan udara sekitarnya dan kemudian menghasilkan gelombang kejut (*shock wave*) (Kagawa *et al*, 1998) dengan energi lebih rendah dibandingkan pada saat diirradiasi laser 100 mJ. Sehingga jumlah atom-atom Pb yang dieksitasi oleh energi *shock wave* ini tidak terlalu banyak dan sebagai akibatnya intensitas emisi yang ditangkap oleh spektrometer menurun. Dengan demikian energi laser **100 mJ** adalah sangat cocok untuk mengeksitasi elektron-elektron dalam unsur Pb pada sampel terdeposisi (*thin film*) di katoda.

Berdasarkan spektra lengkap hasil LIBS dari panjang gelombang 200 nm sampai 980 nm, bahwa selain unsur Pb yang menempel pada katoda juga diperoleh unsur-unsur lain seperti natrium Na, silikon Si dan lain-lain dalam jumlah cukup kecil (kurang dari 2%) yang



gambar 1. spektrum emisi atom netral Pb I 405,7 nm untuk berbagai energi laser



Gambar 2. Grafik Intensitas emisi Pb I 405,7 nm fungsi arus listrik dan grafik massa Pb yang terdeposisi di katoda fungsi arus listrik

mana unsur-unsur ini yang tidak bisa dibedakan atau dianalisis oleh metode konvensional. Oleh karena sampel tersebut mengandung unsur Pb lebih dari 98 %, maka selanjutnya dalam penelitian ini, massa total yang terendapkan pada katoda Cu dianggap sama atau sebanding dengan massa unsur Pb.

Penentuan optimasi arus listrik dalam analisis unsur Pb dilakukan pada sampel hasil elektrolisis larutan Pb dengan konsentrasi 300 ppm, waktu deposisi 30 menit dan arus listrik yang bervariasi mulai 2,69 mA, 3,84 mA, 4,72

mA, 5,28 mA dan 6,75 mA. Pemilihan nilai arus ini disesuaikan dengan keadaan nilai hambatan geser yang diberikan. Massa total unsur Pb yang menempel pada katoda Cu dianalisis melalui metode konvensional dengan menimbang katoda Cu sebelum dan sesudah proses elektrolisis dengan *digital balance* (shimadzu, model AUW200D) dan selanjutnya dianalisis melalui metode LIBS dengan meradiasi laser dengan energi 100 mJ yang hasilnya ditampilkan pada Gambar 2.

Gambar 2, merupakan grafik intensitas

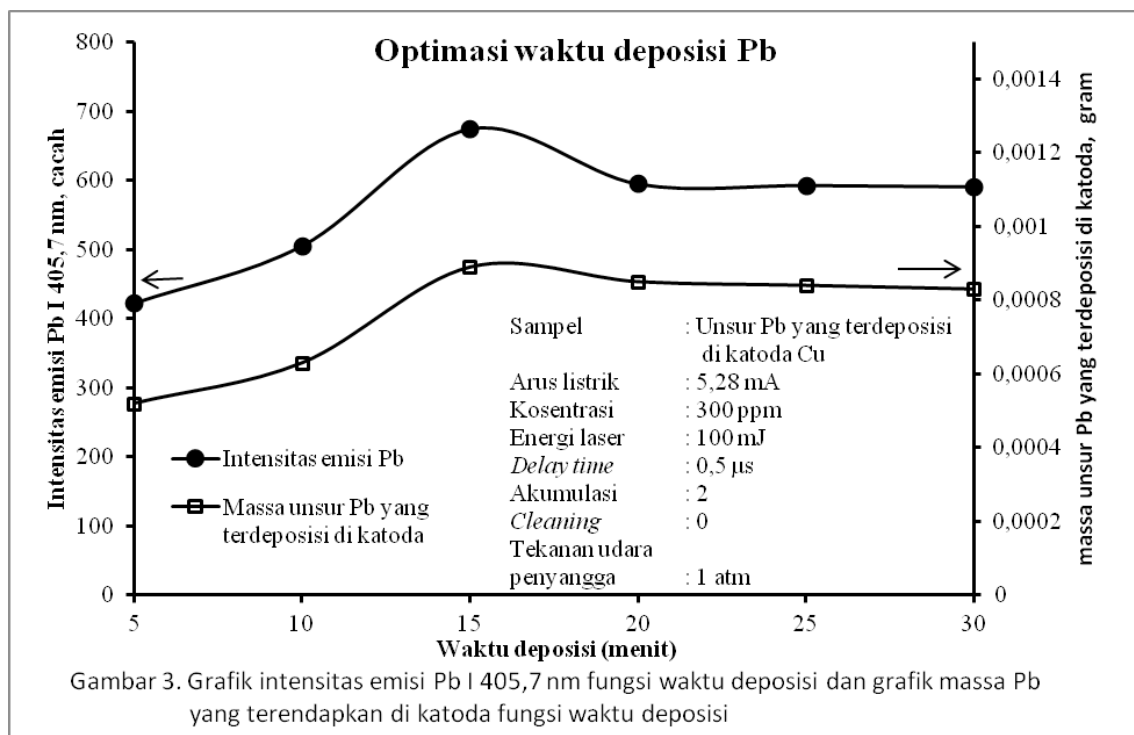
unsur Pb fungsi arus listrik dan grafik antara perubahan arus listrik terhadap jumlah massa total unsur yang terendapkan di katoda. Berdasarkan Gambar 2, bahwa intensitas emisi atom netral Pb I (405,7 nm) dan jumlah massa total yang terendapkan di katoda mempunyai kecenderungan yang sama yaitu meningkat dengan bertambah besarnya nilai arus listrik sampai 5,28 mA dan menurun pada arus listrik 6.75 mA. Penurunan ini disebabkan karena ketika diberikan arus listrik semakin besar maka dapat menyebabkan panas pada elektroda dan juga dalam larutan, yang mana menyebabkan kelarutan bertambah ke dalam larutan sehingga atom Pb yang menempel di katoda semakin berkurang atau lepas. Berdasarkan kondisi ini, maka arus listrik optimum yang digunakan pada proses elektrolisis untuk sampel Pb adalah 5,28 mA, yang mana memiliki intensitas emisi yang paling tinggi sebesar 591,33 cacah dengan massa Pb yang terendapkan sebesar 0,00083 gram.

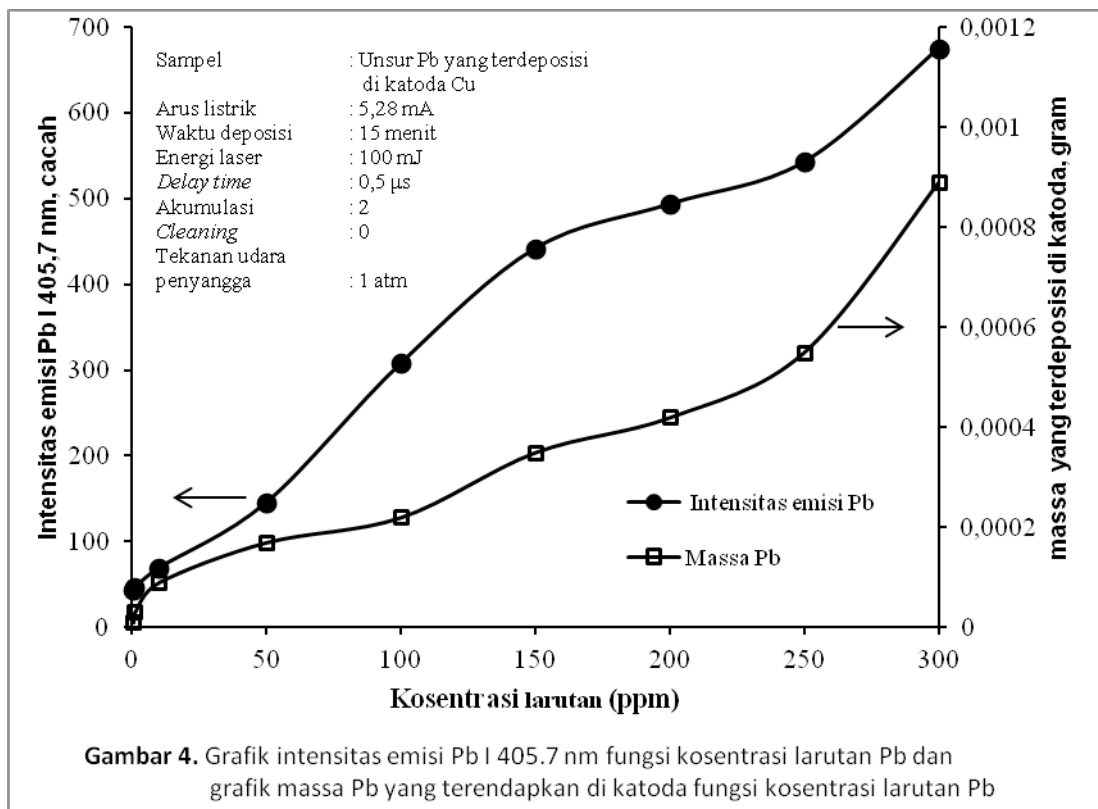
Langkah selanjutnya untuk menganalisis unsur Pb dalam sampel cair melalui proses elektrolisis adalah lama waktu deposisi. Penentuan optimasi waktu deposisi dalam analisis unsur Pb dilakukan pada sampel hasil elektrolisis larutan Pb dengan konsentrasi 300 ppm, arus listrik optimum 5,28 mA, dan waktu deposisi yang bervariasi mulai 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit sampai 30 menit. Massa Pb yang menempel pada katoda ditim-

bang (metode konvensional) dan kemudian diirradiasi dengan energi laser 100 mJ (metode LIBS) dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3, merupakan grafik intensitas emisi fungsi waktu deposisi dan grafik antara perubahan waktu deposisi terhadap jumlah massa Pb yang terendapkan di katoda. Gambar 3 menunjukkan bahwa intensitas emisi atom netral Pb I (405.7 nm) dan jumlah massa Pb yang terendapkan di katoda mempunyai kecenderungan yang sama yaitu meningkat dengan bertambah besarnya waktu deposisi sampai 15 menit dan menurun pada waktu 20 menit sampai 30 menit. Penurunan ini disebabkan karena lapisan atom Pb pada katoda sudah mengalami kejenuhan, sehingga semakin besar waktu yang diberikan, akan menyebabkan sebagian atom Pb yang sudah menempel lepas kembali ke larutan dan sebagai akibatnya intensitas emisi unsur Pb turun. Oleh karena itu waktu deposisi yang optimum pada sampel Pb ini adalah 15 menit, yang mana memiliki intensitas emisi yang paling tinggi yaitu 675 cacah dengan massa Pb yang terendapkan paling besar yaitu 0,00089 gram.

Setelah diketahui kondisi optimum eksperimen diantaranya energi laser, arus listrik dan lama waktu elektrolisis, maka metode ini dapat diuji keandalannya yaitu salah satunya digunakan untuk aplikasi analisis kuantitatif. Analisis ini digunakan untuk mengetahui kon-





sentensi suatu unsur dalam sampel baik dalam *part per million* (ppm) ataupun dalam persen (%). Ketelitian metode dalam analisis ini ditentukan oleh seberapa rendah konsentrasi yang dapat dianalisis yang disebut deteksi limit (*limit of detection*, LOD).

Penentuan deteksi limit konsentrasi larutan dalam analisis unsur Pb dilakukan pada sampel hasil elektrolisis larutan Pb dengan konsentrasi larutan bervariasi mulai konsentrasi 300 ppm sampai konsentrasi 0.5 ppm, menggunakan hasil optimum arus listrik 5,28 mA dan waktu deposisi optimum 15 menit. Massa Pb yang menempel di katoda ditimbang dan kemudian diirradiasi dengan laser berenergi 100 mJ, dan hasilnya ditampilkan pada gambar 4.

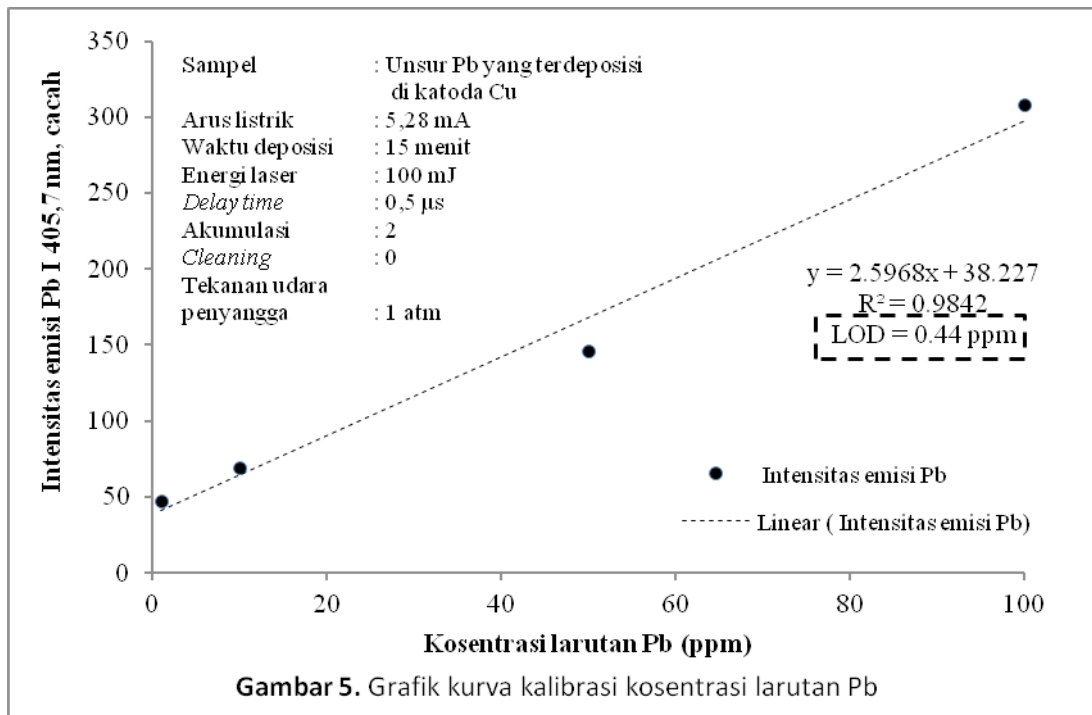
Gambar 4 merupakan grafik intensitas emisi fungsi konsentrasi larutan Pb dan grafik antara jumlah massa Pb yang terendapkan di katoda terhadap perubahan konsentrasi larutan Pb. Grafik menunjukkan bahwa intensitas emisi atom netral Pb I (405,7 nm) meningkat dengan bertambah besarnya nilai konsentrasi larutan mulai 0,5 ppm sampai 300 ppm, demikian juga untuk jumlah massa yang menempel pada katoda. Untuk konsentrasi rendah < 50 ppm grafik mempunyai kecenderungan slop yang sama antara intensitas emisi atom dengan jumlah massa yang terdepositasi pada katoda. Tetapi untuk konsentrasi di atas 50 ppm, slop kemirip-

gan intensitas emisi atom lebih besar dibanding dengan jumlah massa yang terdepositasi. Ini disebabkan kerapatan unsur Pb tiap satuan luas yang menempel di katoda pada konsentrasi tinggi adalah lebih besar dibandingkan pada konsentrasi rendah, sehingga jumlah unsur Pb di luasan titik fokus laser lebih banyak dan sebagai akibatnya intensitas emisi unsur Pb meningkat tajam.

Untuk mengetahui konsentrasi minimum unsur Pb yang dapat dideteksi dengan metode LIBS ini, maka perlu dihitung deteksi limit melalui persamaan regresi linier dari empat data ppm terkecil dan hasilnya seperti pada Gambar 5. Pada Gambar 5, menunjukkan bahwa hasil regresi dari nilai konsentrasi larutan Pb dari 100 ppm sampai 0.5 ppm yang memiliki nilai R^2 yaitu 0,984. Berdasarkan persamaan regresi $y = 2,596x + 8,2$ dan diperoleh deteksi limitnya 0,44 ppm (Radziemski, 2006).

PENUTUP

Berdasarkan data – data hasil elektrolisis yang dianalisis dengan metode LIBS mempunyai korelasi yang sangat tinggi dengan hasil metode konvensional yang menghitung beda massa katoda sebelum dan sesudah elektrolisis. Sehingga metode LIBS merupakan salah



satu alternatif untuk analisis hasil elektrolisis. Kondisi optimum arus listrik dan waktu deposisi unsur Pb pada proses elektrolisis masing-masing adalah 5.28 mA dan 15 menit. Sedangkan kondisi optimum energi laser untuk analisis unsur Pb hasil elektrolisis dengan LIBS adalah 100 mJ. Aplikasi dari metode analisis ini telah diperoleh deteksi limit unsur Pb dalam larutan sebesar 0.44 ppm. Keunggulan metode analisis dengan LIBS terhadap metode konvensional dalam menganalisis hasil elektrolisis adalah metode LIBS dapat menganalisis konsentrasi masing-masing unsur yang terdeposisi pada elektroda yang mana akan bermanfaat untuk analisis pemisahan unsur dalam sampel cair. Data menunjukkan bahwa selain unsur Pb juga terdeposisi unsur-unsur lain meskipun jumlahnya cukup kecil (kurang dari 2%) yaitu unsur natrium Na, silikon Si yang mana unsur-unsur ini yang tidak bisa dibedakan atau dianalisis oleh metode konvensional. Ini disebabkan karena metode konvensional hanya mengetahui jumlah massa total unsur yang terdeposisi dan tidak mengetahui jenis unsurnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada lembaga penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (LPPM) universitas udayana yang telah membantu dana untuk pelaksanaan penelitian ini melalui kontrak no:175A.15/UN14.2/PNL.01.03.00/2013 dan laboratorium riset ber-

sama FMIPA –Unud yang telah memberikan fasilitas peralatan LIBS

DAFTAR PUSTAKA

- Fredrick M. Phelps III (1982). *M.I.T. Wavelength Tables* Vol. 2. The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Hobart H. Willard, Lynne L. Merritt, Jr, John A. Dean, and Frank A. Settle, Jr (1988). *Instrumental Methods of Analysis*. Seventh Edition, Wadsworth Publishing Company, Belmont, California.
- James D. Ingle, JR and Stanley R. Crough.(1988). *Spectrochemical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood, New Jersey
- Kurniawan, K.H., May On Tjia, and K. Kagawa (2014). Review of Laser-Induced Plasma, Its Mechanism, and Application to Quantitative Analysis of Hydrogen and Deuterium. *Applied Spectroscopy Review*, 49(5).
- Kagawa, K., & Kurniawan, H. (1998) "Laser-Induced Shock Wave Plasma Spectroscopy " Trends in *Applied spectroscopy*, 2
- Laird, B. B. (2009). *University Chemistry*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Marincan Pardede, Hendrik Kurniawan, Tjia May On, Kazuhiro Ikezawa, Tadashi Mayurama and Kiichiro Kagawa (2001). Spectrochemical Analysis of Metal Elements Electrodeposited from water samples by Laser-Induced Shock Wave Plasma Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 55(9)
- Radziemski L.J. and D.A Cremers. 2006. *Handbook of Laser Induced Breakdown Spectroscopy*. England: John Wiley and Sons Ltd.

Yonghoo Lee, Se-Wong Oh, Song-Hee Han. (2012). Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) of Heavy Metal Ions at the Sub-Part per Million Level in Water. *Appl. Spectrosc.* 66(12): 1385-1396

Yudiandika, P. (2010). Studi Pemisahan Logam Per-

ak (Ag) dari Limbah Fotografi Rumah Sakit dengan Metode Elektrolisis melalui Variasi Arus Listrik dan Bahan Elektroda. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Udayana, Karya Ilmiah